



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت

پروژه نهایی درس کنترل کیفیت آماری

بررسی و پایش شاخص آلودگی هوا ایستگاه DL027 کشور هند

نگارش

سهیل وثیق‌مهر

کیان ایمانی

امیرمحمد همتی

استاد راهنما

دکتر مریم اشرفی

دی‌ماه ۱۴۰۰

## چکیده

آلودگی هوا یکی از جدی‌ترین بحران‌های جوامع امروز بشری است که با گسترش صنعت و شهرسازی‌ها در جهان به طور مداوم افزایش یافته و به یکی از تهدیدهای اصلی برای سلامت انسان و محیط زیست تبدیل گشته است. امروزه بسیاری کشورهای جهان به ویژه در کلانشهرهای خود با این معضل مواجه‌اند و از ابزارهای مختلف برای سنجش و بهبود در این مسئله کمک می‌گیرند.

یکی از بسترهای مهم در سنجش و تحلیل شاخص آلودگی هوا، حوزه کنترل کیفیت آماری است که در بررسی داده‌ها و کشف عیوب و علت آن‌ها کاربرد گسترده‌ای دارد.

گروه ما برای پروژه نهایی درس کنترل کیفیت آماری، تصمیم به انتخاب و کار بر روی این مسئله با انتخاب دیتاست مرتبط گرفت. این پروژه شامل فاز اول بررسی داده‌ها، به دست آوردن حدود کیفیت و بررسی داده‌های فاز دوم و جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پایانی در خصوص اطلاعات به دست آمده می‌باشد.

## فهرست مطالب

مقدمه.....	۱
معرفی دیتاست و پروژه.....	۳
فاز اول پروژه.....	۵
فاز دوم پروژه.....	۱۳
نتیجه گیری.....	۱۸

## مقدمه

### تعریف مسئله آلودگی هوا

آلودگی هوا زمانی اتفاق می‌افتد که حجم زیادی از ذرات یا مواد مضر از قبیل گازها، ذرات و زیست‌مولکول‌ها وارد اتمسفر کره زمین شود. آلودگی هوا مخلوطی از ذرات معلق و گازهایی است که غلظت آن به محدوده مضر برای انسان رسیده‌است که می‌تواند هم در داخل ساختمان و هم در خارج ساختمان باشد. به طور کلی هرگونه تغییر فیزیکی، بیولوژیکی یا شیمیایی در هوا ممکن است به عنوان آلودگی نامیده شود.

### عوامل اصلی آلودگی هوا

مقداری از آلودگی هوا از منابع طبیعی مانند فعالیت آتشفشان‌ها، و بیشتر آن ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی یا فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. برای مثال دی اکسید گوگردی که از احتراق سوخت‌های فسیلی مثل زغال سنگ، نفت و سایر انتشار می‌شود یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا است. آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه شامل کامیون، اتومبیل، قطار، هواپیما باعث ایجاد آلودگی زیادی می‌شود.

استفاده از حشره کش‌ها، آفت کش‌ها و کود در فعالیت‌های کشاورزی بسیار زیاد است که سبب پخش مواد مضر شیمیایی در هوا می‌شوند.

صنایع تولیدی مقدار زیادی مونوکسید کربن، هیدروکربن، ترکیبات آلی و مواد شیمیایی را در هوا پخش می‌کنند و به همین دلیل کیفیت هوا را کاهش می‌دهند. پالایشگاه‌های نفت نیز، هیدروکربن و سایر مواد شیمیایی آلوده دیگر را در هوا منتشر می‌کنند و همچنین باعث آلودگی زمین می‌شوند.

پدیده وارونگی دما که در فصل‌های سرد سال رخ می‌دهد نیز سبب افزایش شاخص آلودگی هوا می‌شود و عموماً در فصل‌های سرد مشکلات بیشتری برای کنترل این مسئله وجود دارد.

### مشکلات ناشی از آلودگی هوا

آلودگی هوا می‌تواند باعث افزایش بیماری‌ها در انسان یا گرمایش کره زمین گردد. بر اساس گزارشی از سازمان جهانی بهداشت، آلودگی هوا در سال ۲۰۱۲ باعث مرگ هفت میلیون انسان در سراسر جهان شده‌است. آلودگی هوای خارج از ساختمان عامل افزایش چندین علت اصلی مرگ‌ومیر در جهان، از جمله سکته مغزی، بیماری‌های

قلبی، سرطان ریه و بیماری‌های تنفسی، مانند آسم است. همچنین آلودگی هوا سبب بروز مشکلاتی از قبیل بیماری‌های خود ایمنی، سقط جنین، زایمان زودرس، مشکلات یادگیری، تحریک چشم و بینی و حتی زوال عقل نیز می‌شود.

تخمین زده می‌شود که کاهش بهره‌وری و کاهش کیفیت زندگی ناشی از آلودگی هوا سالانه ۵ تریلیون دلار برای اقتصاد جهان هزینه دربردارد و در کنار تأثیرات منفی بر روی سلامتی و افزایش مرگ و میر، یکی از عوارض جانبی نظام اقتصادی معاصر و بیشتر فعالیت‌های انسانی محسوب می‌شود.

### چگونگی اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها در ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا

بر اساس استانداردهای بین‌المللی ۶ نوع آلاینده به صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شود که برخی از آنها شامل مونواکسیدکربن، دی اکسیدگوگرد، دی اکسید نیتروژن، ازن و ذرات معلق با قطر کمتر از ۲.۵ میکرون است. تهدید عمده در خصوص سلامتی انسان‌ها در خصوص ذرات کمتر از ۲.۵ میکرون است به این علت که این ذرات بسیار کوچک هستند و به صورت مستقیم جذب بدن شده و وارد خون می‌شوند در خصوص ذرات با قطر بالای ۱۰ میکرون، توسط سیستم تنفسی دفع می‌شوند و وارد ریه‌ها نمی‌شوند.

در خصوص نحوه اندازه‌گیری آلاینده‌ها نیز به طور مختصر ذرات معلق کمتر از ۲.۵ میکرون جریان هوا از طریق پمپ‌ها وارد دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌شوند. دستگاه غلظت ذرات را بر اساس شدت جذب اندازه‌گیری کرده و در فواصل زمانی مشخص یک ساعته در سیستم ثبت می‌کند. پس از اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها موارد فوق در سرور‌ها ثبت و سپس اطلاعات به مرکز فرستاده می‌شود. در مرکز پایش تمامی اطلاعات ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و آن چیزی که به عنوان شاخص کیفیت اعلام می‌شود میانگین ۲۴ ساعت است که اعلام عمومی می‌شود.

## معرفی دیتاست و پروژه

دیتاست ما شامل اطلاعات شاخص آلودگی هوا ایستگاه DL027 در کشور هند برای دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ است. این اطلاعات شامل شاخص نهایی آلودگی هوا یا AQI (Air Quality Index) و همچنین مقدار شاخص هر آلاینده در روز است. علت اصلی انتخاب این دیتاست، دارا بودن جزئیات و همچنین نداشتن داده گمشده (Missing Value) بود.

در خصوص چگونگی تحلیل مشاهدات، با توجه به اینکه برای فصول مختلف، میزان آلودگی هوا با هم تفاوت قابل توجهی دارد قابل توجه نبود که برای تمام مشاهدات یک حد بالا و یک پایین واحد در نظر گرفته شود فلذا طبق راهنمایی استاد درس، سرکار خانم دکتر اشرفی، برای قابل مقایسه بودن زیرگروه ها در نمونه گیری، مشاهدات دیتاست ما در فصول بهار و زمستان (بهار به عنوان فصلی که آلودگی کمتری داریم و زمستان به عنوان یک فصل سرد که در آن آلودگی افزایش پیدا می کند) انتخاب شدند تا مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند.

در این پروژه از میانگین مشاهدات هر ۷ روز، به عنوان یک مشاهده استفاده شد و نمودارهای  $\bar{X}$  و R برای مشاهدات ترسیم شد و در فاز اول مقادیر معین برای حد بالا (UCL) و حد پایین (LCL) نمودارهای  $\bar{X}$  و R به دست آمد. لازم به ذکر است که از داده های بهار و زمستان سال ۲۰۱۹ برای فاز اول پروژه و محاسبه حدود و از داده های سال ۲۰۲۰ برای فاز دوم پروژه استفاده گردید. برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (رسم حدود) و مینی تب (ریز آلاینده ها) استفاده شد.

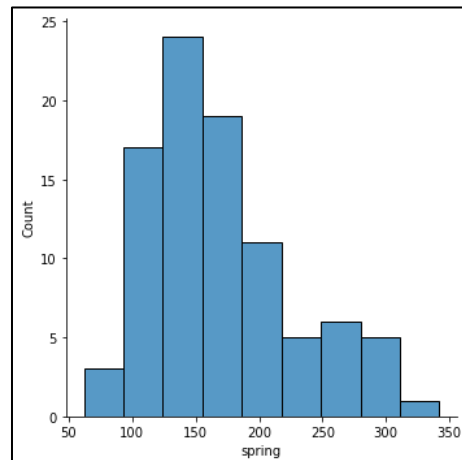
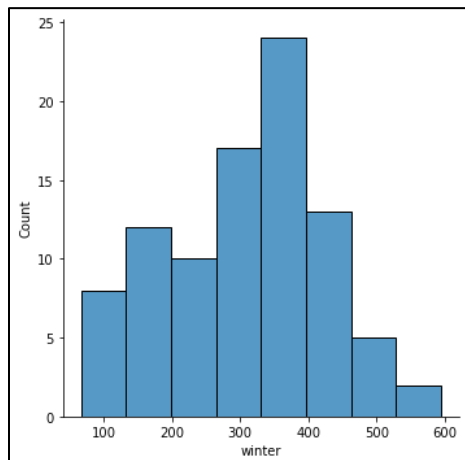
## دلایل انتخاب نمودارهای $\bar{X}$ و R

همانطور که ذکر شد دیتاست ما شامل اطلاعات روزانه از تمام روزهای فصل است. با این وجود نمودارها به صورت روزانه (m=90) برای هر کدام از فصل های بهار و زمستان رسم نشد چرا که حجم محاسبات به صورت غیرملزومی بالا می رفت و نتیجه این نوع تحلیل نیز شاید چندان کاربردی نباشد.

همچنین راهی دیگر این بود که جمع AQI مشاهدات هر هفته را جمع کرد و آن را به عنوان یک مشاهده در نظر گرفت (m=52, n=1) و برای این داده ها نمودارهای I و MR رسم کرد اما با توجه به اینکه اطلاعات جزئی هر روز را در اختیار داشتیم رسم نمودارهای  $\bar{X}$  و R در دستور کار قرار گرفت تا پس از رسم آنها و مشخص شدن نقاط خارج از حدود، بتوانیم به ریز تحلیل هر هفته و مشاهدات آن بپردازیم.

## نمودار توزیع داده‌ها

در این بخش نیز در راستای معرفی دیتاست پروژه، نمودار توزیع داده‌ها برای فاز اول ترسیم شده است. محور افقی نمودار بیان‌گر شاخص AQI و محور عمودی بیان‌گر تعداد روزهایی است که شاخص آنها در بازه مدنظر قرار گرفته است.



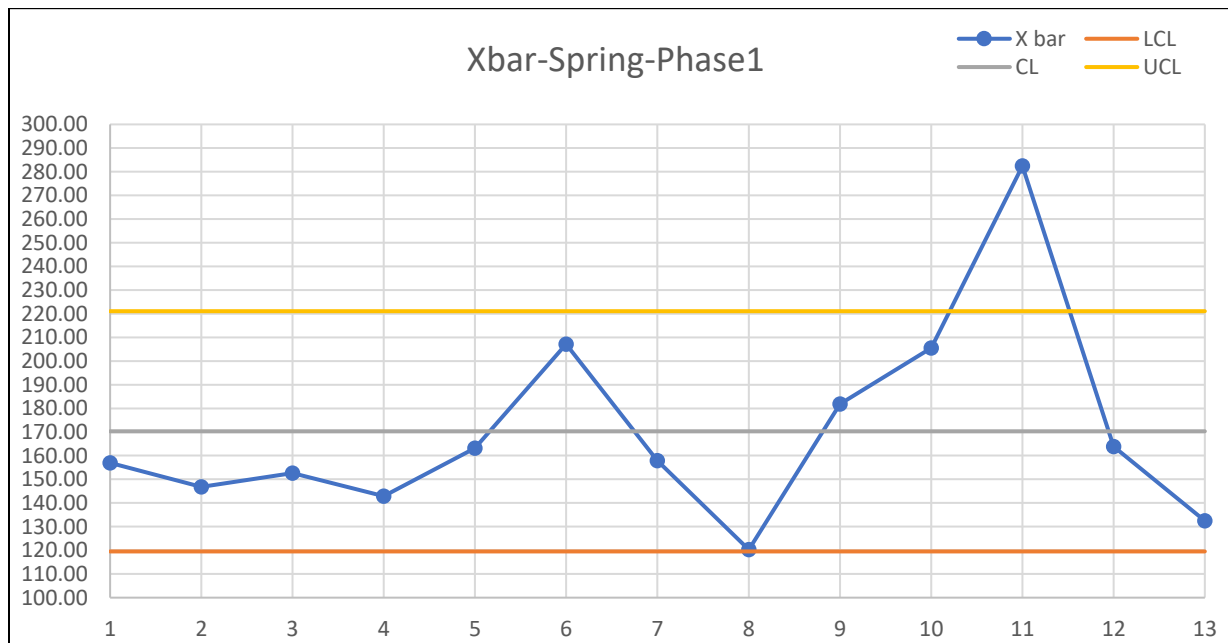
شکل ۲۱؛ نمودارهای توزیع داده برای فاز اول (بهار و زمستان)

## هدف انجام پروژه

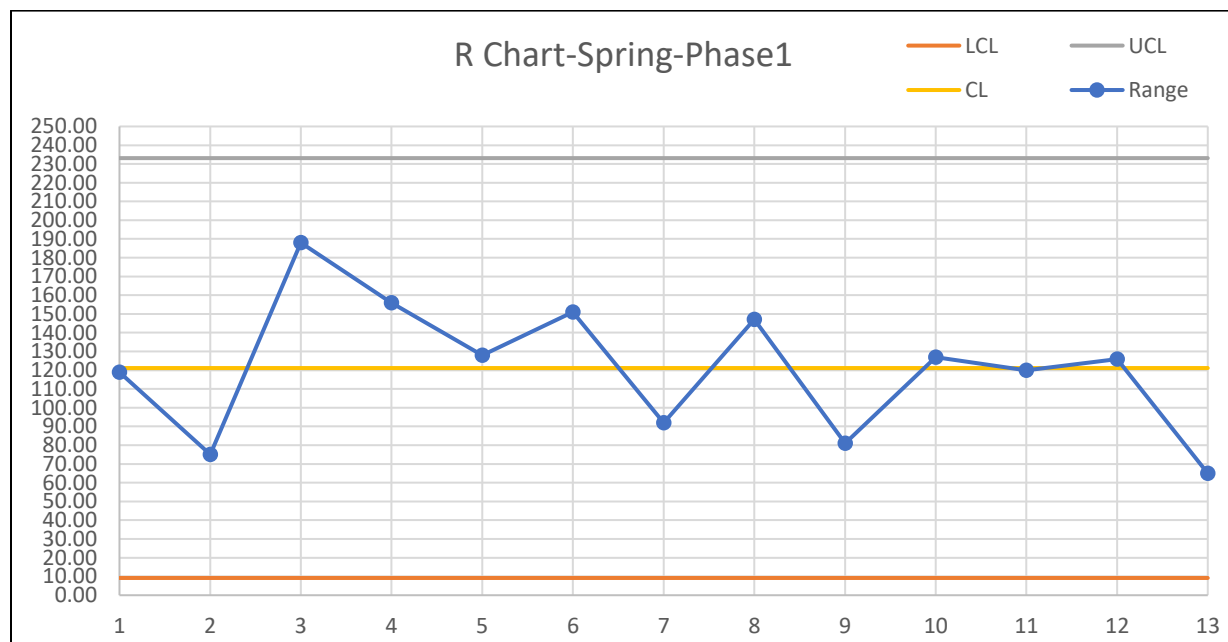
در انجام این پروژه به دنبال این بودیم تا ضمن پیدا کردن یک حدود پایین و بالا (LCL, UCL) برای دو فصل مورد بررسی یعنی بهار و زمستان، بتوانیم با بررسی نمودار ریزآلاینده‌ها، به بررسی علت و عوامل آلودگی هوا و منشاء آنها بپردازیم تا بتوان با قدم برداشتن در رفع آن‌ها، به شاخص مطلوب‌تری از کیفیت هوا رسید.

## فاز اول پروژه

در گام اول، رسم نمودارهای  $\bar{X}$  و R برای داده‌های فاز اول در نرم‌افزار اکسل در دستور کار گرفت. شمایل نمودارهای حاصل در ادامه مطلب قرار گرفته است.

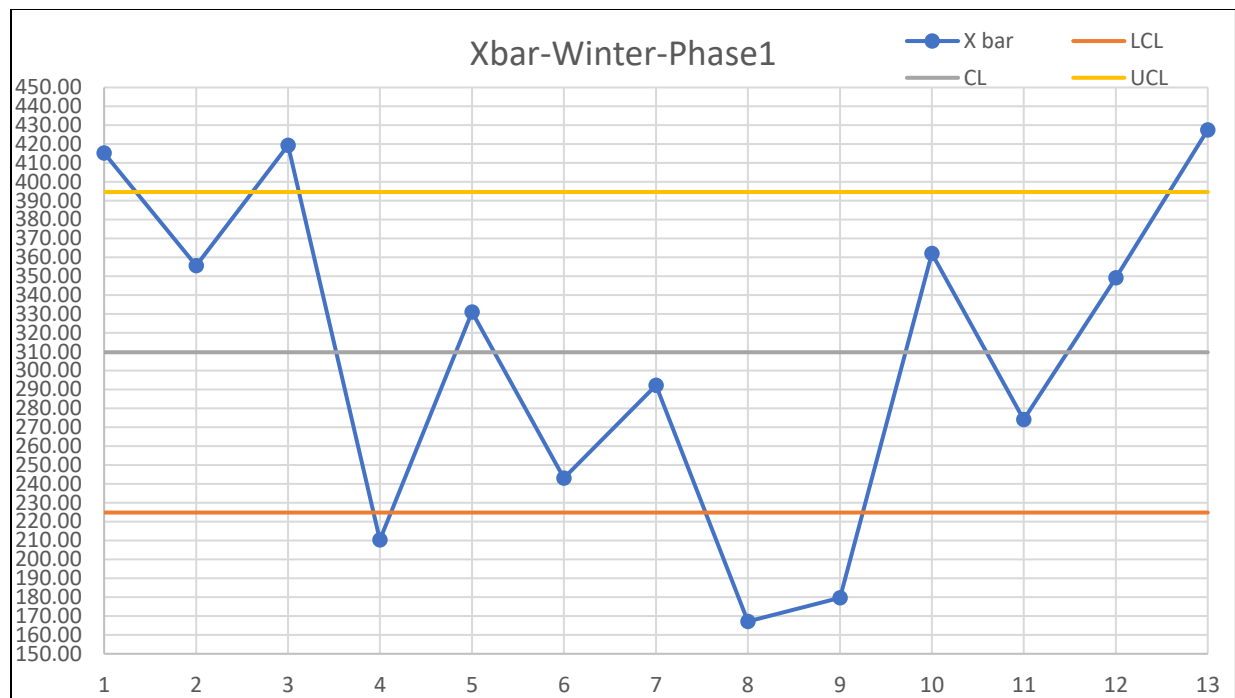


نمودار  $\bar{X}$ ؛ ۱ برای بهار ۲۰۱۹- فاز اول

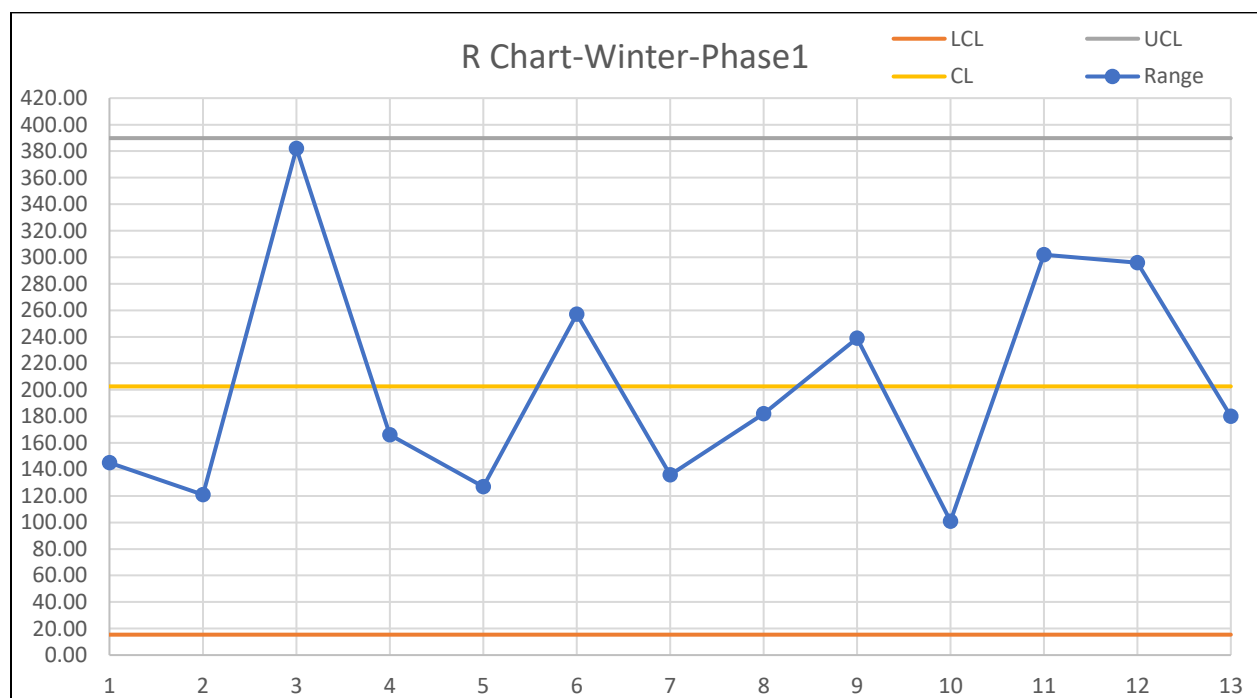


نمودار R Chart؛ ۲ برای بهار ۲۰۱۹- فاز اول





نمودار ۳؛ Xbar برای زمستان ۲۰۱۹-فاز اول



نمودار ۴؛ R Chart برای زمستان ۲۰۱۹-فاز اول

Xbar-Spring-Phase1		
LCL	CL	UCL
119.53	170.30	221.06

R Chart-Spring-Phase1		
LCL	CL	UCL
9.21	121.15	233.10

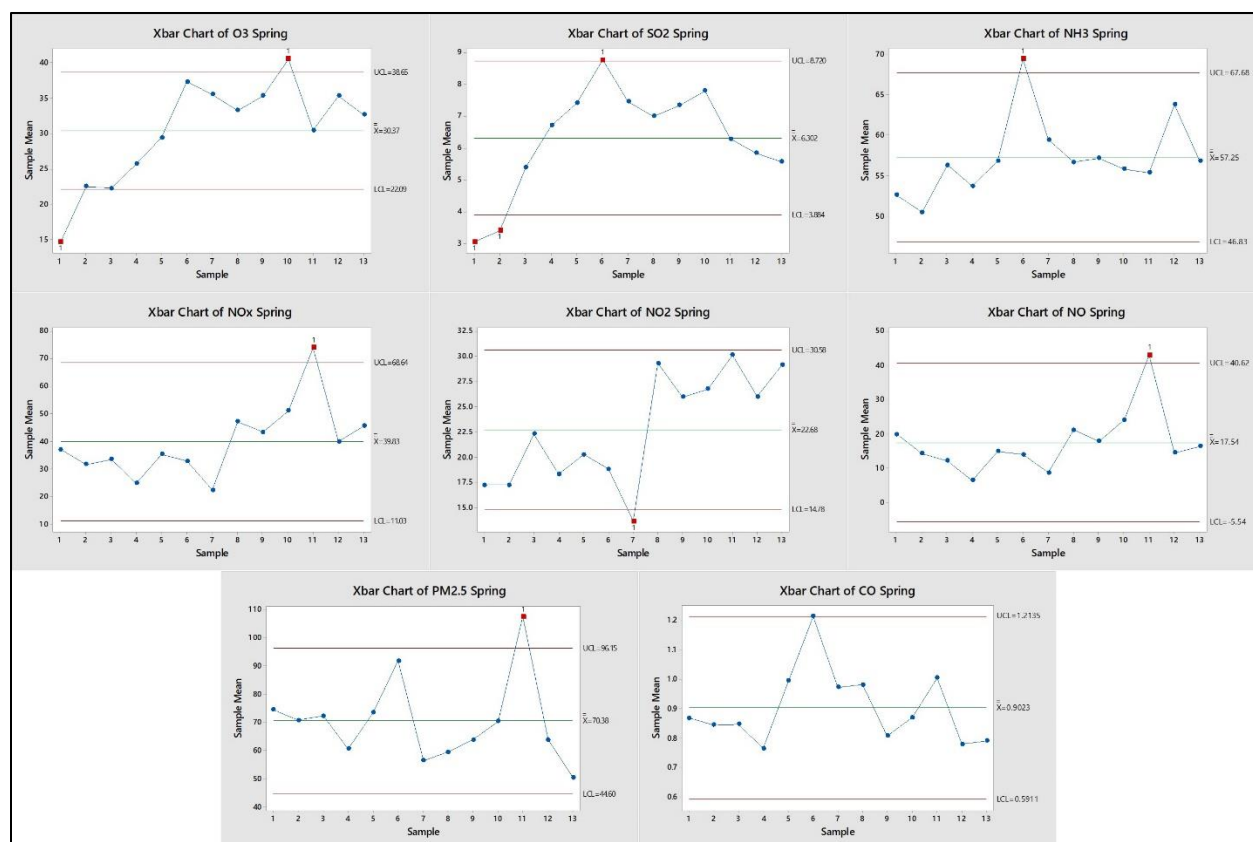
جدول ۱ و ۲؛ حدود نمودارهای Xbar و R Chart برای بهار ۲۰۱۹- فاز اول

Xbar-Winter-Phase1		
LCL	CL	UCL
224.83	309.73	394.62

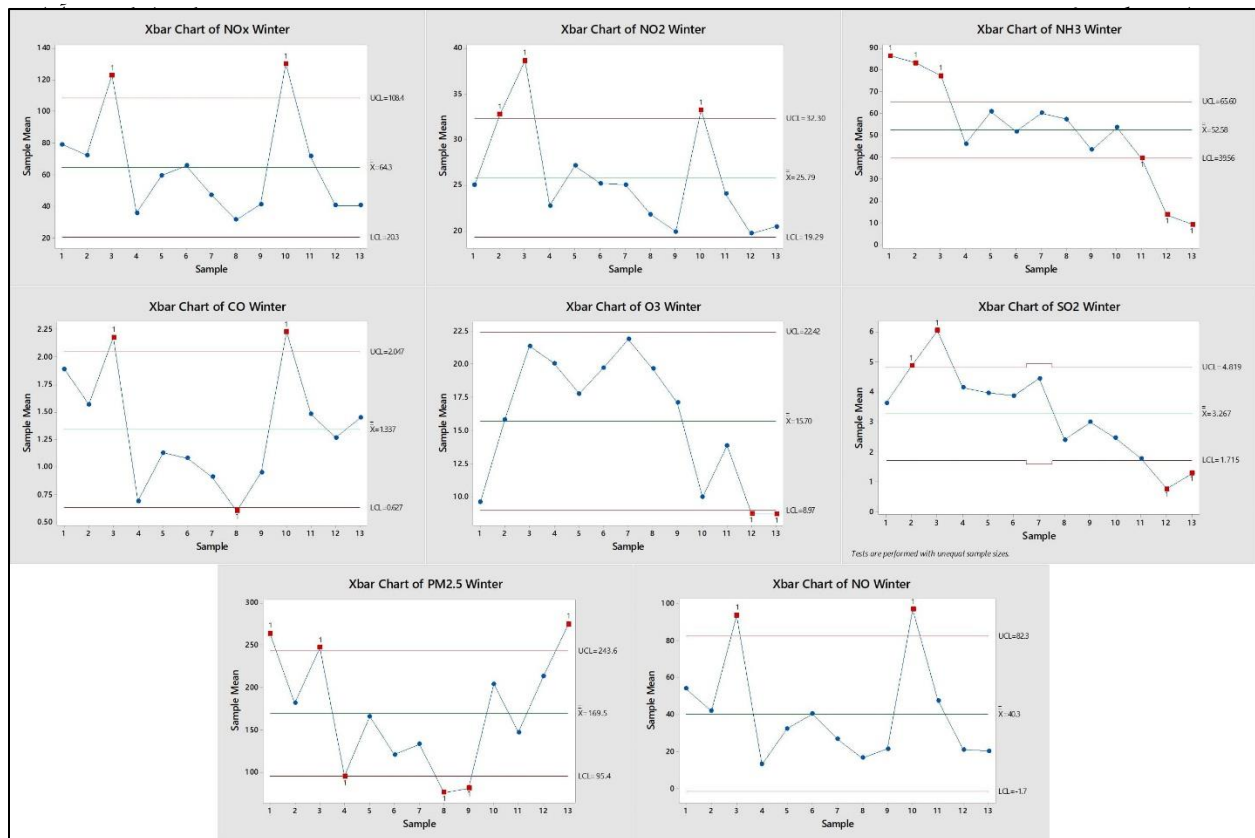
R Chart-Winter-Phase1		
LCL	CL	UCL
15.40	202.62	389.83

جدول ۳ و ۴؛ حدود نمودارهای Xbar و R Chart برای زمستان ۲۰۱۹- فاز اول

حال با رسم شدن نمودارها و مشخص شدن نقاط خارج از حدود، می‌توانیم با استفاده از نمودارهای ریز آلاینده‌ها برای هر دو فصل بهار و زمستان به تحلیل آن‌ها بپردازیم و علت خروج نقاط فوق را بررسی کنیم.



شکل ۳؛ نمودار ریز آلاینده‌ها برای فصل بهار ۲۰۱۹- فاز اول



شکل ۴؛ نمودار ریزآلاینده‌ها برای فصل زمستان ۲۰۱۹- فاز اول

همانطور که در نمودارهای ۱ تا ۴ مشاهده شد، نقاطی را داشتیم که خارج از حدود بالا و پایین ترسیمی بودند که درواقع معرف هفته nام هر فصل هستند:

Spring, Xbar: 11

Spring, R Chart: -

Winter, Xbar: 1,3,13

Winter, R Chart: -

در ادامه به تحلیل هر کدام از این هفته‌ها می‌پردازیم.

بهار : در فصل بهار، تنها هفته‌ی ۱۱ در نمودار Xbar خارج از حدود کنترل افتاده است و سایر نمونه‌ها تحت کنترل هستند. همچنین نمودار R نیز تحت کنترل است. جهت بررسی علت خارج از کنترل بودن شاخص هفته یازدهم، نمودار آلاینده‌های آن هفته را بررسی کردیم و نتیجه آن به شرح زیر است:

در این هفته آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ,  $NO$ ,  $O_3$  و  $NO_x$  بالاتر از حدود کنترل قرار گرفته‌اند و موجب بالارفتن شاخص کل کیفیت هوا در این هفته شده‌اند. همچنین در هفته یازدهم تمامی آلاینده‌های تحت کنترل جز  $NH_3$  در بالای خط کنترل میانی قرار گرفته‌اند.

زمستان: در فصل زمستان، داده هفته‌های ۱، ۳، ۸، ۹ و ۱۳ خارج از حدود کنترل قرار گرفته‌اند. داده‌های ۱، ۳ و ۱۳ بالای حد بالای کنترل و داده‌های ۸ و ۹ پایین حد پایین کنترل هستند. حال به بررسی داده‌های خارج از حدود کنترل می‌پردازیم:

داده‌های بالای خط کنترل UCL:

هفته ۱: در هفته اول آلاینده‌های  $PM_{2.5}$  و  $NH_3$  خارج از حدود کنترل هستند.

هفته ۳: آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $NO_x$ ,  $NO$ ،  $CO$  و  $NO_2$  خارج از حدود کنترل قرار دارند. به عبارتی ۷ آلاینده از ۸ آلاینده بالای حد بالایی قرار دارند و به همین دلیل شاخص کل کیفیت هوا در این هفته خارج از حدود کنترل (بالای UCL) است. همچنین آلاینده  $O_3$  که تحت کنترل است بسیار نزدیک به حد بالایی کنترل قرار دارد.

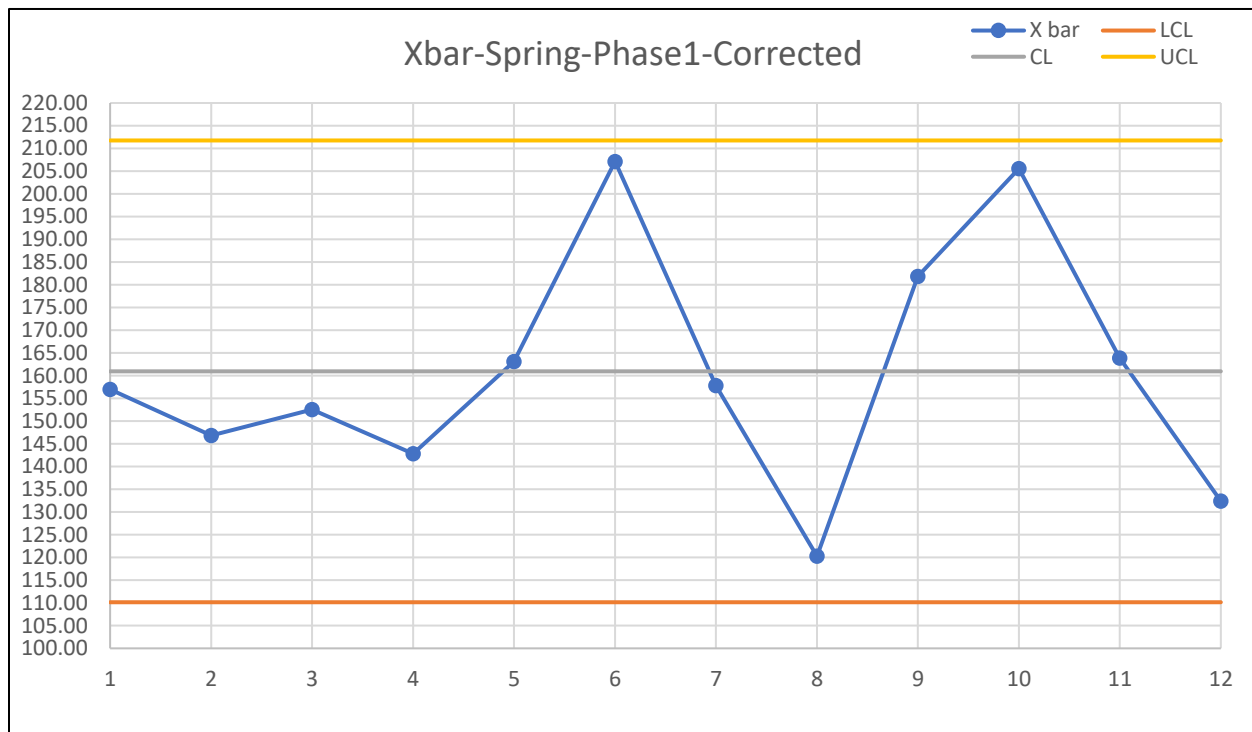
هفته ۱۳: در بررسی دلیل خارج از کنترل بودن این هفته به نکته‌ای برخوردیم که در ادامه شرح می‌دهیم. هفته ۱۳ بالای UCL قرار دارد اما آلاینده‌های  $SO_2$ ،  $O_3$  و  $NH_3$  در این هفته زیر خط LCL هستند. در این هفته تنها آلاینده  $PM_{2.5}$  بالای UCL قرار دارد و می‌بینیم که به تنهایی موجب خارج از کنترل شدن شاخص کیفیت هوای هفته ۱۳ شده است. با توجه به این نکته و همچنین خارج از کنترل بودن  $PM_{2.5}$  در تمامی هفته‌های خارج از کنترل، نتیجه می‌گیریم که این آلاینده نقش بسیار مهمی در تعیین شاخص کیفیت هوا دارد و AQI بسیار وابسته به  $PM_{2.5}$  یا همان ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون است.

داده‌های زیر خط کنترل LCL:

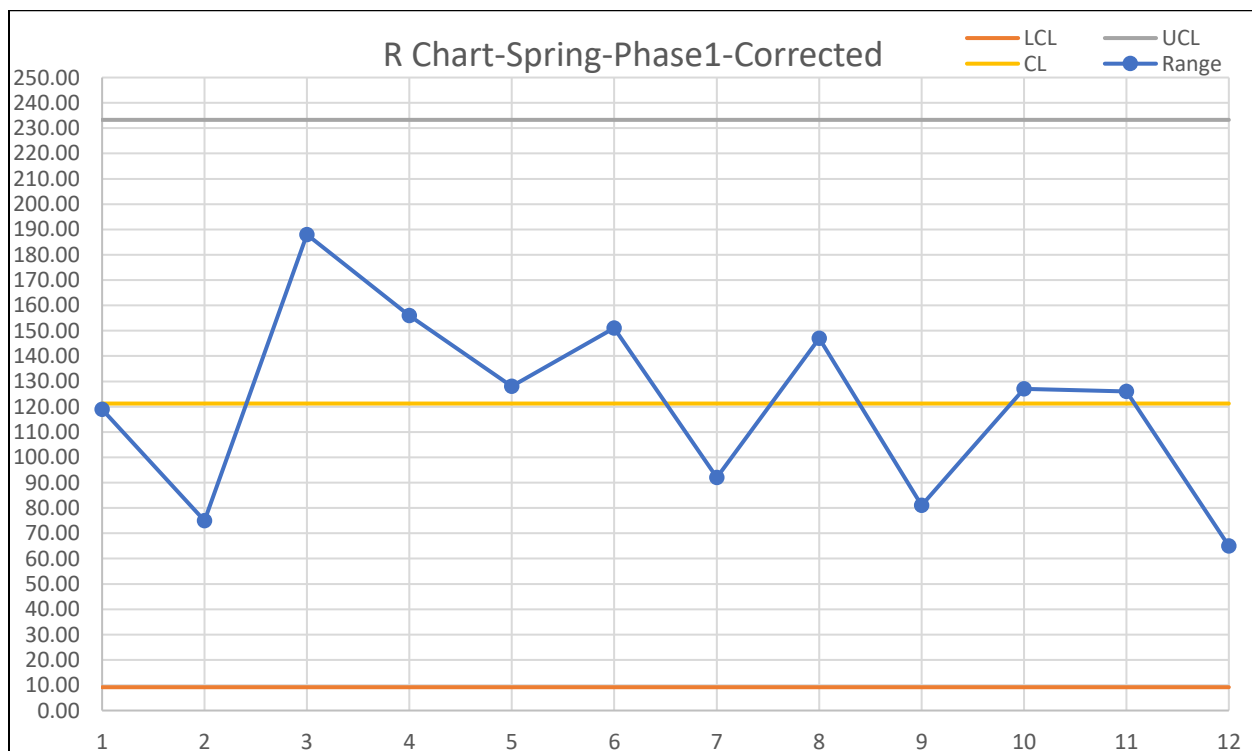
هفته ۸: در این هفته آلاینده‌های  $PM_{2.5}$  و  $CO$  خارج از حدود کنترل قرار دارند. هر دو این آلاینده‌های زیر LCL هستند

هفته ۹: در این هفته آلاینده‌های  $PM_{2.5}$  و  $CO$  خارج از حدود کنترل هستند و زیر خط LCL قرار دارند. همچنین تمامی آلاینده‌های دیگر بین خط CL و LCL قرار گرفته‌اند که موجب پایین بودن شاخص این هفته شده‌اند.

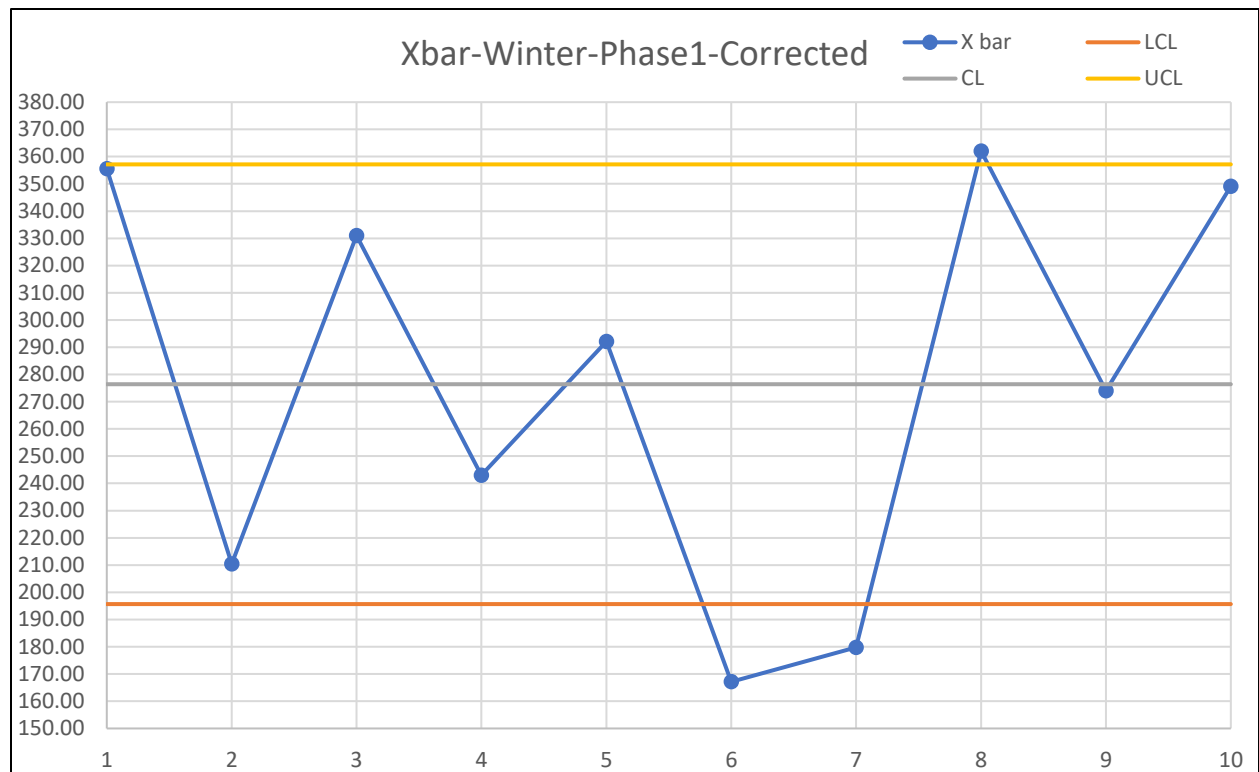
حالا با حذف نقاط فوق، حدود اصلاح شده را به دست می آوریم که حاصل کار نمودارهای پایین است:



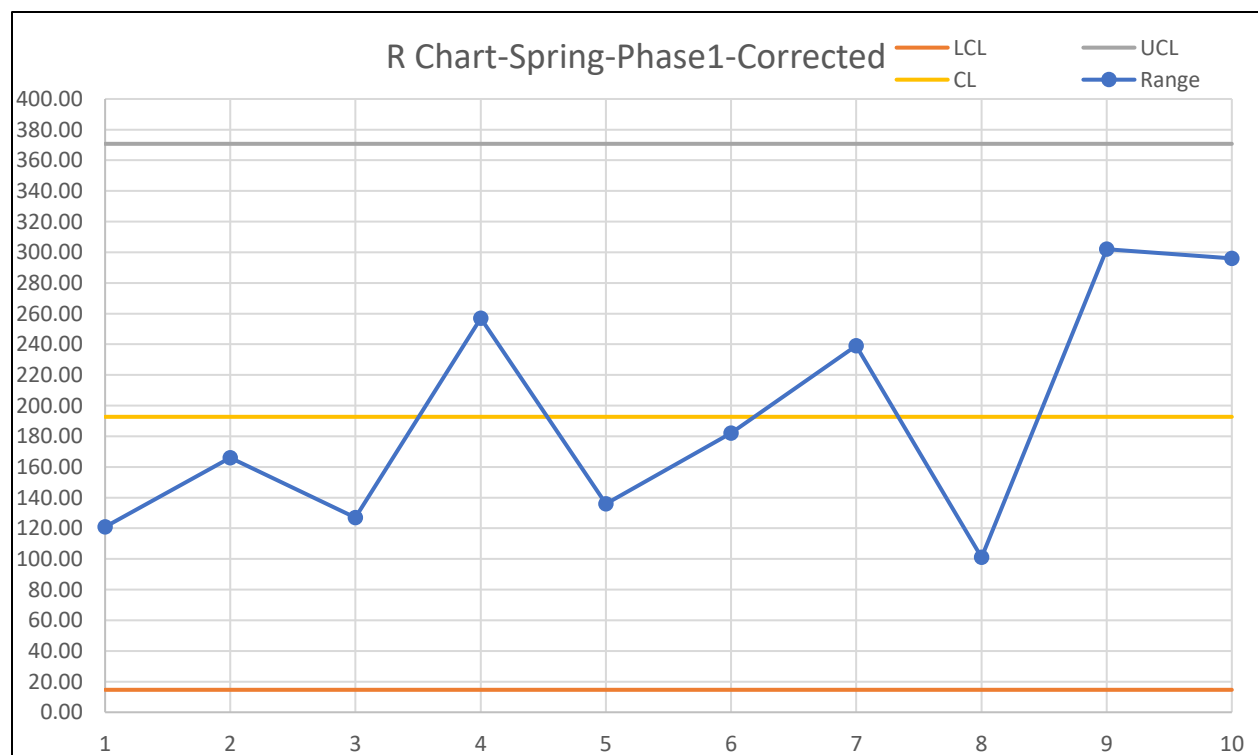
نمودار ۵: Xbar با حدود اصلاح شده برای بهار ۲۰۱۹-فاز اول



نمودار ۶: R Chart با حدود اصلاح شده برای بهار ۲۰۱۹-فاز اول



نمودار ۷؛ Xbar با حدود اصلاح شده برای زمستان ۲۰۱۹-فاز اول



نمودار ۸؛ R Chart با حدود اصلاح شده برای زمستان ۲۰۱۹-فاز اول

نکته لازم به ذکر در خصوص نمودار  $\bar{X}$  فصل زمستان این است که هفته هشتم حدود اصلاح شده همچنان خارج از حدود است اما به دلیل فاصله بسیار اندک آن با حدود مورد قبول قرار می گیرد. همچنین دو نقطه زیر LCL داریم که مشکلی ایجاد نمی کند چراکه مفهوم آن این بوده که شاخص مورد قبول و خوب بوده است.

حالا با اصلاح نمودارهای فاز اول، حدود ما برای فاز دوم به دست آمده که به شرح زیر است:

Xbar		
LCL	CL	UCL
110.15	160.95	211.76

R Chart		
LCL	CL	UCL
9.22	121.25	233.29

جدول ۵ و ۶؛ حدود اصلاح شده فاز اول برای بهار ۲۰۱۹ = حدود فاز دوم

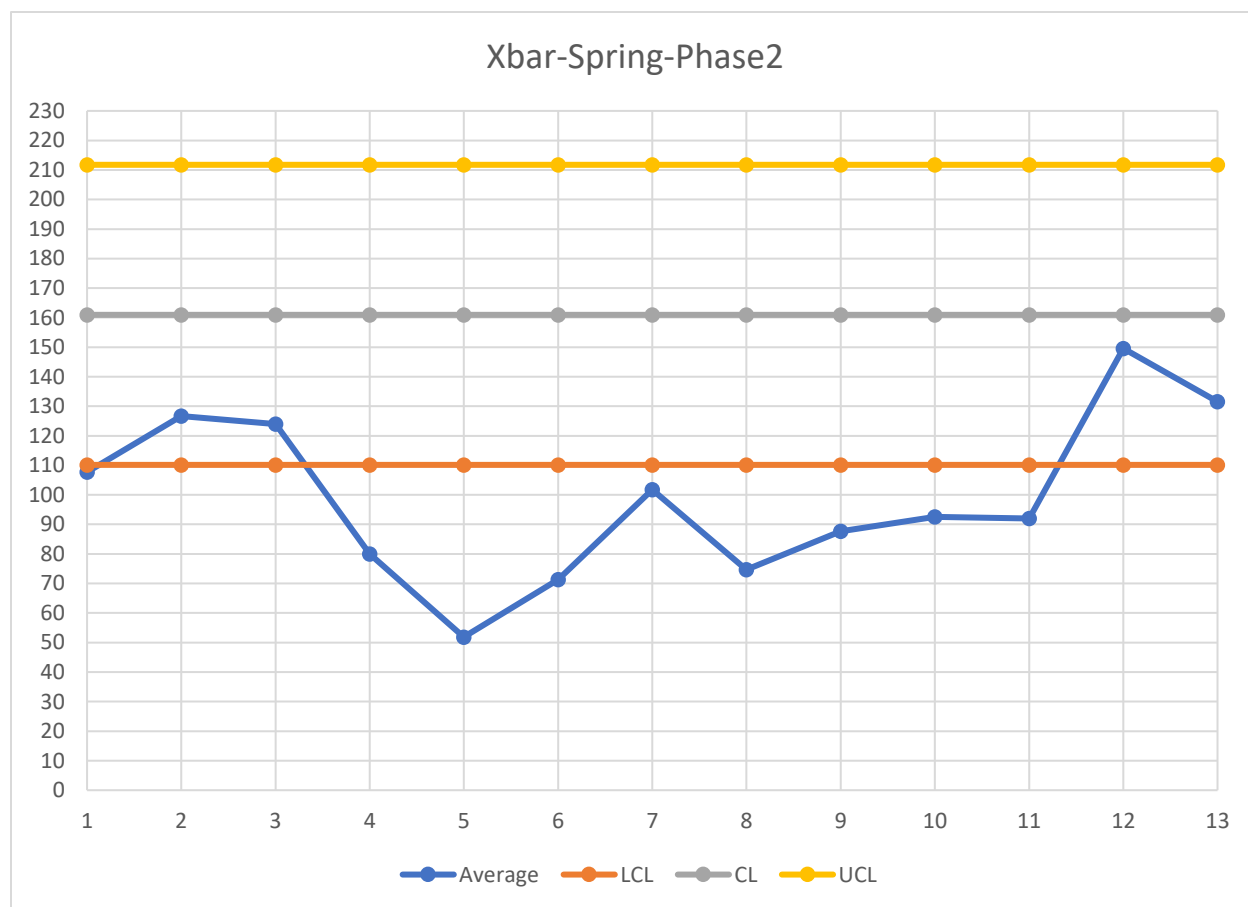
x bar		
LCL	CL	UCL
195.67	276.41	357.16

r bar		
LCL	CL	UCL
14.65	192.70	370.75

جدول ۷ و ۸؛ حدود اصلاح شده فاز اول برای زمستان ۲۰۱۹ = حدود فاز دوم

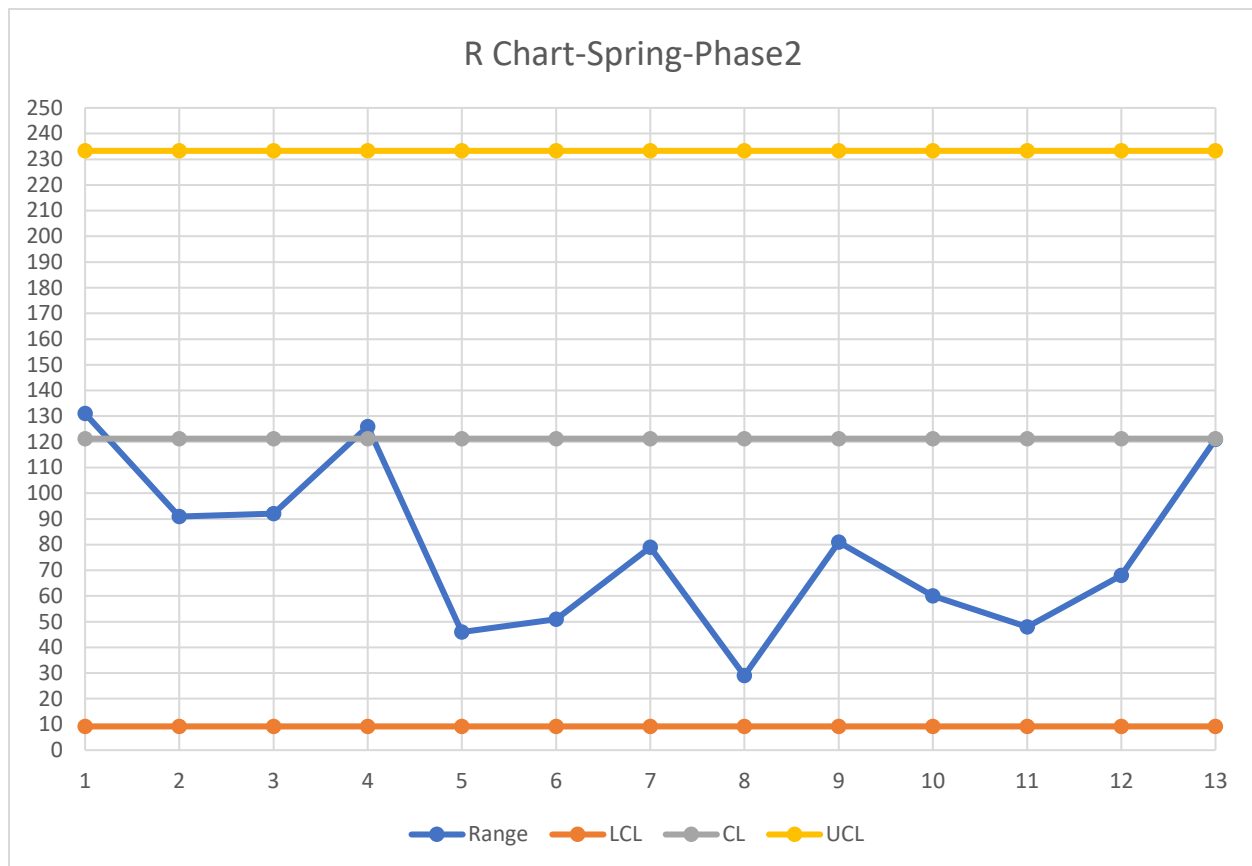
## فاز دوم پروژه

پس از حذف نقاط خارج از حدود و به دست آوردن UCL و LCL برای فاز دوم، نوبت به رسم نمودارهای  $\bar{X}$  و R برای داده‌های بهار و زمستان ۲۰۲۰ می‌رسد. داده‌های این سال نیز در دو فصل بهار و زمستان (برای هر فصل:  $m=13, n=7$ ) جداسازی شده است.

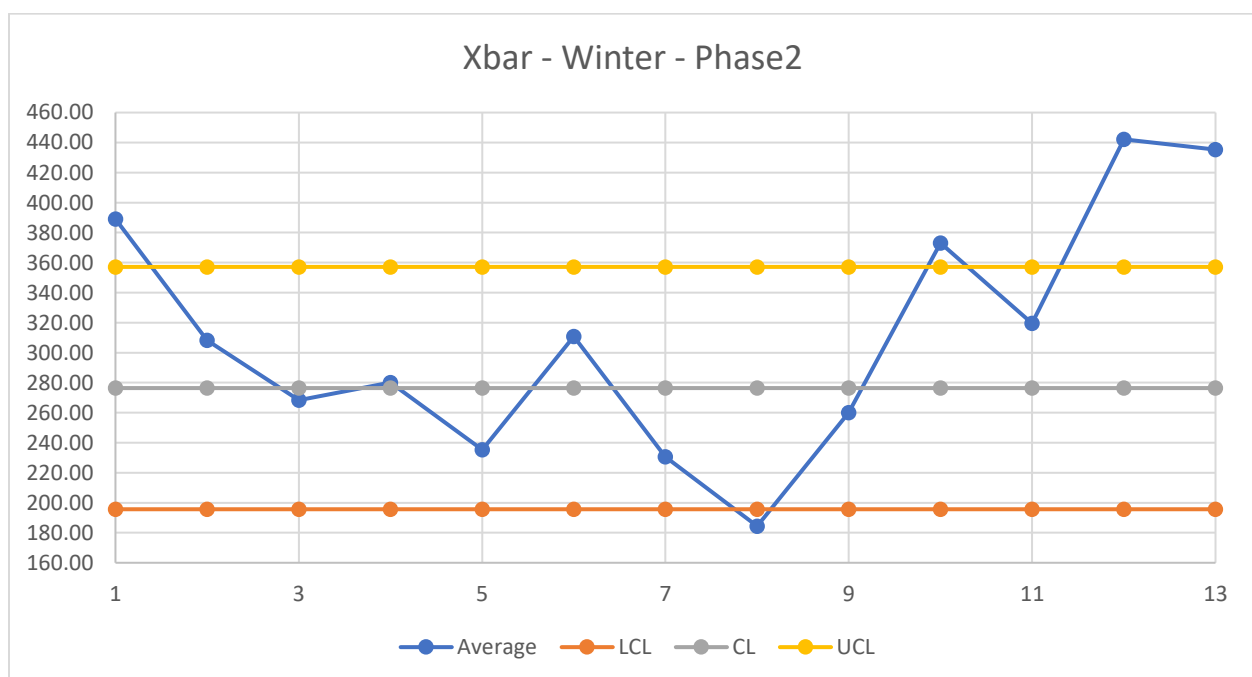


نمودار  $\bar{X}$  برای فصل بهار ۲۰۲۰ - فاز دوم

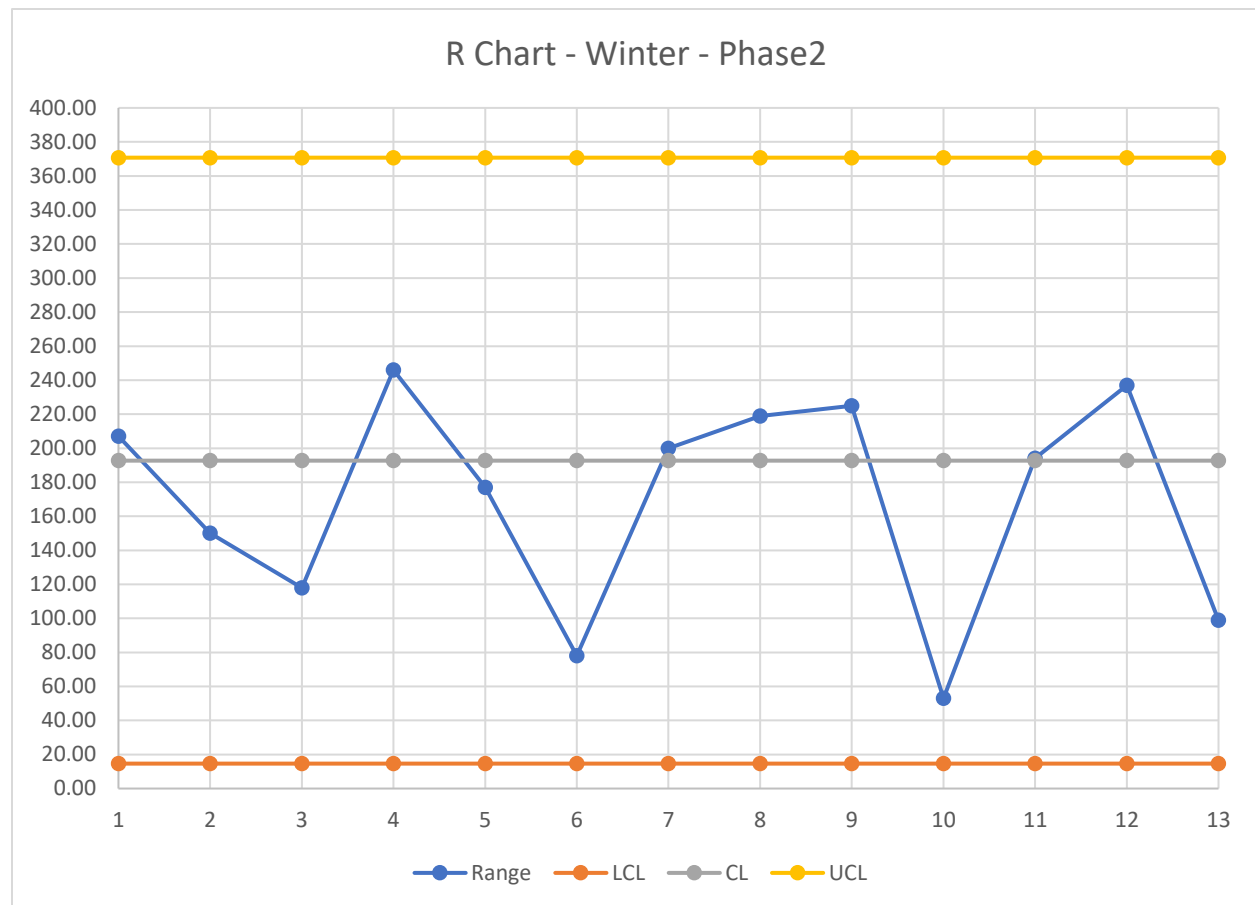




نمودار ۱۰؛ R Chart برای فصل بهار ۲۰۲۰ - فاز دوم



نمودار ۱۱؛ Xbar برای فصل زمستان ۲۰۲۰ - فاز دوم



نمودار ۱۲؛ R Chart برای فصل زمستان ۲۰۲۰-فاز دوم

بررسی و تحلیل نمودارهای فاز دوم با استفاده از نمودار ریزآلاینده‌ها:

در نمودار  $\bar{X}$  برای فصل بهار، ۸ داده زیر حدود کنترلی LCL قرار گرفته‌اند، که این مورد با توجه به نوع شاخص مورد بررسی ما نشانه تمیزی و پاک بودن هوا در سال مربوط به فاز دوم یعنی ۲۰۲۰ می باشد که چنین تغییری می تواند بر اثر تغییرات اقلیمی باشد و می توان از بررسی علت خارج از حدود کنترل بودن آن، صرف نظر کرد. در نمودار R نیز همه نقاط تحت کنترل هستند. به طور کلی در فصل بهار نقطه ای بالاتر از حدود کنترل (UCL) وجود ندارد.

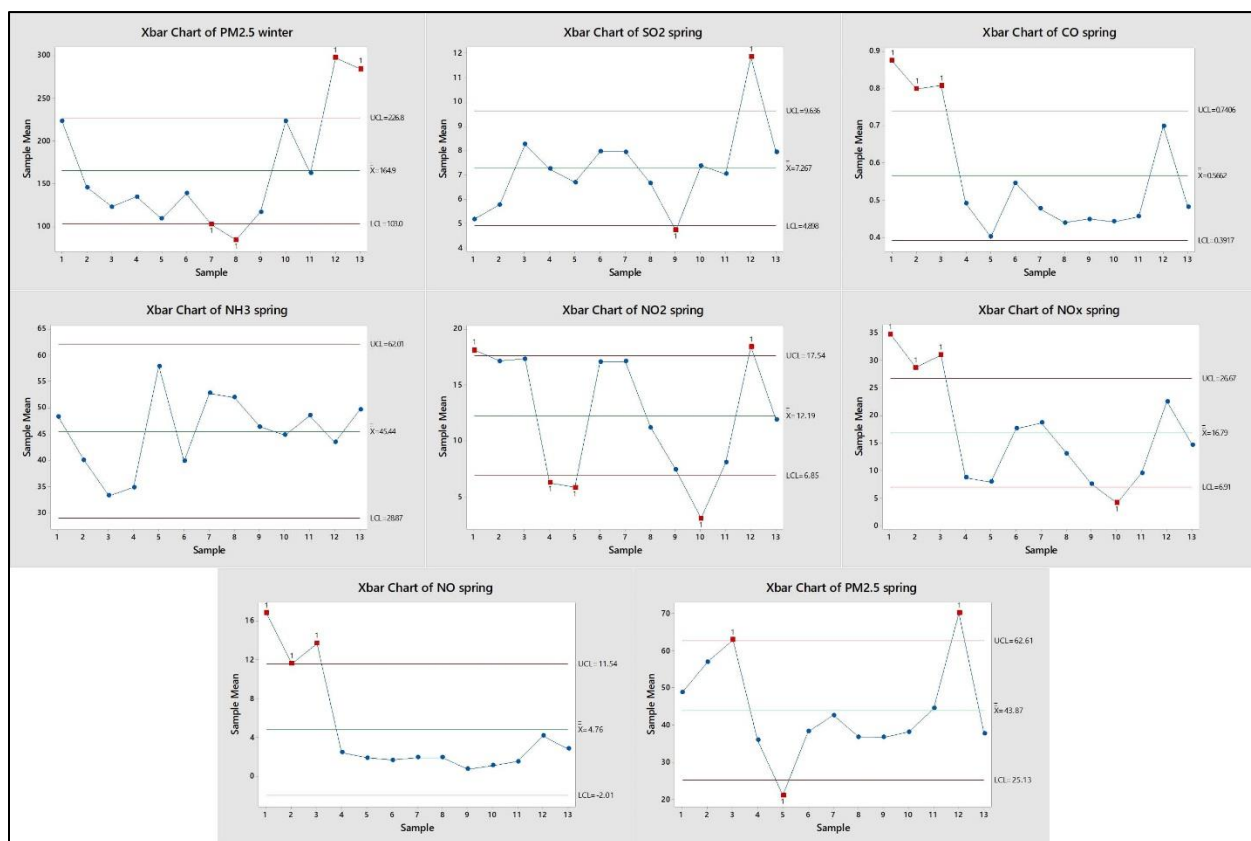
فصل زمستان:

در نمودار  $\bar{X}$  برای فصل زمستان داده (هفته) های ۱ و ۱۰ و ۱۲ و ۱۳ بالاتر حدود کنترل (UCL) و داده ۸ زیر حدود کنترل قرار گرفته است و همانطور که پیش تر گفته شد از بررسی علت خارج از حدود افتادن این نقطه صرف نظر

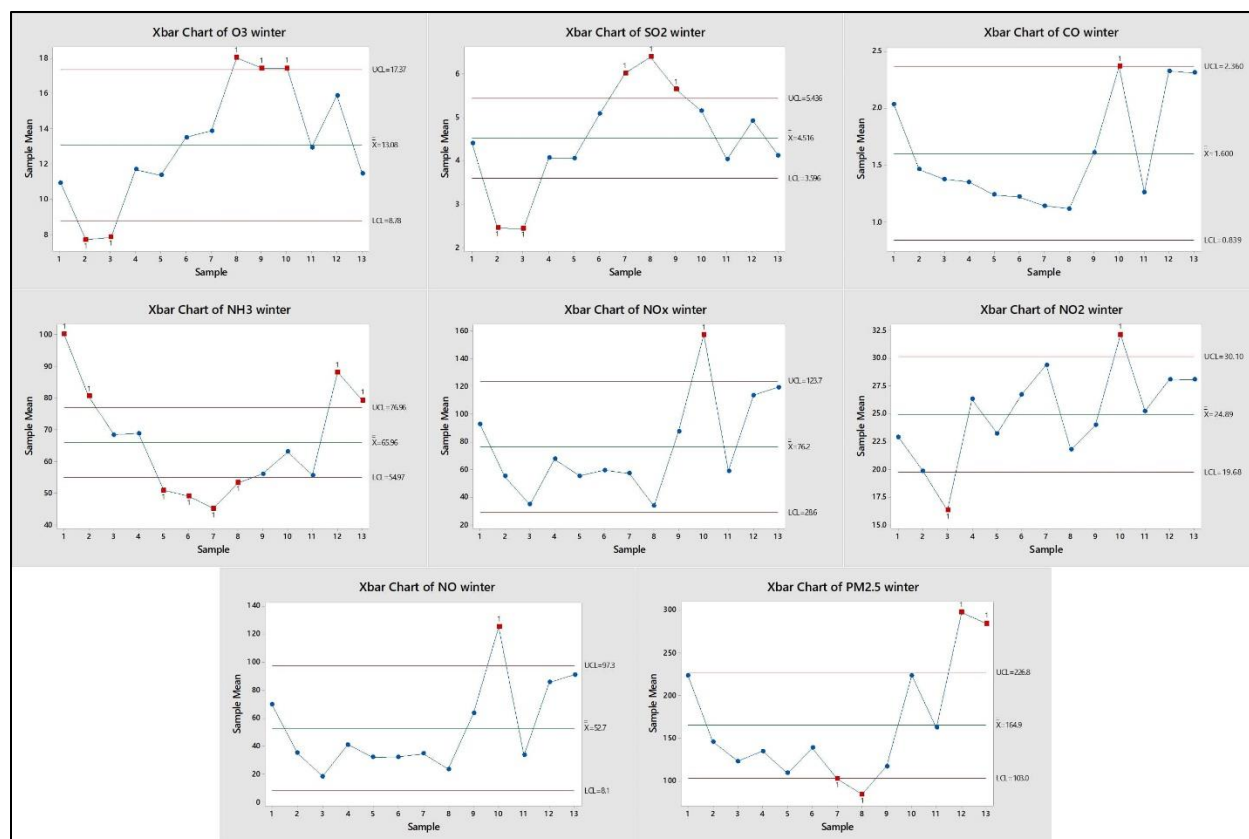
میکنیم. حال باید علت خارج افتادن نقاط ۱۰ و ۱۲ و ۱۳ را بررسی کنیم. برای این کار نمودارهای کنترلی را برای شاخص ریز آلاینده ها را در زمستان رسم کرده ایم و پس از بررسی آنها داریم:

- برای داده (هفته) ۱ ام میزان آلاینده  $NH_3$  خارج از حدود قرار دارد.
- برای داده (هفته) ۱۰ ام میزان غلظت آلاینده های  $O_3, CO, NO_x, NO_2, NO$  بالاتر از حدود کنترلی (UCL) قرار دارند.
- برای داده (هفته) ۱۲ و ۱۳ نیز غلظت آلاینده های  $NH_3$  و  $PM_{2.5}$  ( ذرات معلق با قطر زیر ۲.۵ میکرون) فراتر از حدود کنترلی (UCL) رفته اند.

فلذا با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی نمودارهای کنترلی ریز آلاینده ها باید علت تولید و وجود بیش از حد این نوع آلاینده ها مورد بررسی قرار بگیرد و راهکاری برای کاهش غلظت این ریز آلاینده ها در نظر گرفته شود.



شکل ۵: نمودار ریز آلاینده ها برای بهار ۲۰۲۰- فاز دوم



شکل ۶؛ نمودار ریزآلاینده‌ها برای فصل زمستان ۲۰۲۰-فاز دوم

## نتیجه گیری

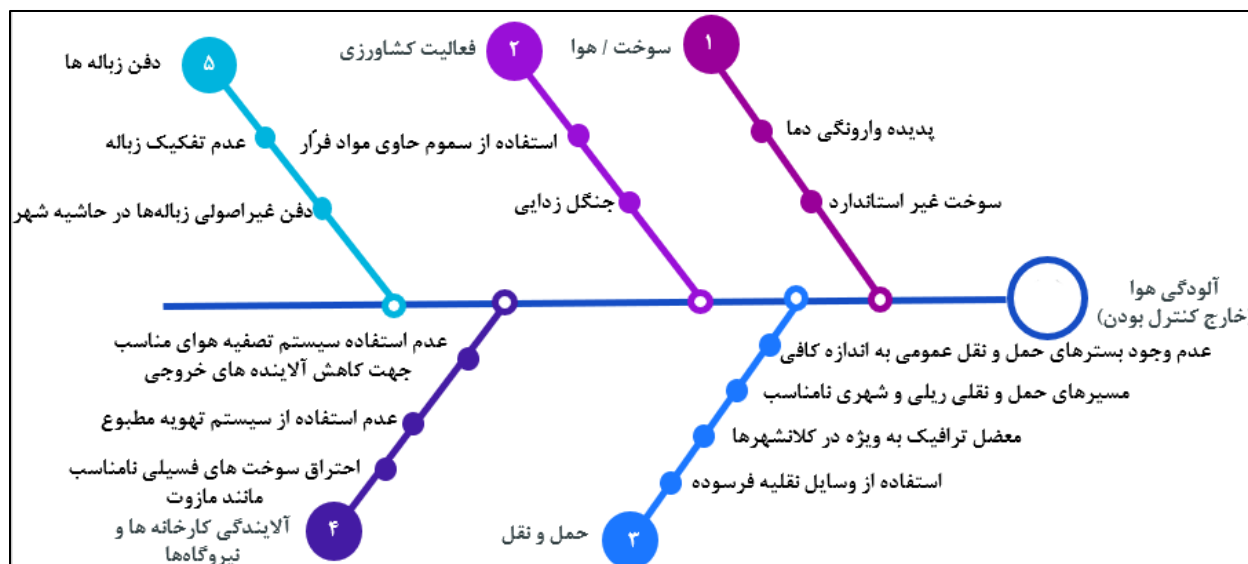
پس از ترسیم نمودارهای فاز اول و دوم در کنار بررسی و آن‌ها، از سری موارد بارز استخراج شده از تحلیل تاثیر مشهود آلاینده  $PM_{2.5}$  روی شاخص کیفیت هوا بود که همان ذرات ریزی هستند که اندازه آنها کمتر از  $2.5$  میکرومتر یا میکرون است. این ذرات به قدری کوچک هستند که می‌توانند حتی به کوچکترین مجاری هوای ریه‌ها نفوذ کنند و اصلی‌ترین تهدید برای سلامت انسان محسوب می‌شوند. همچنین این ذرات اصلی‌ترین علت تاری هوا در زمان آلوده بودن هوا هستند.

در جستجوها و تحقیقات، اصلی‌ترین عامل به وجود آمدن این ذرات را می‌توان فعالیت‌های بر پایه سوزاندن سوخت فسیلی برشمرد که عبور و مرور خودروها به ویژه خودروهای فرسوده، ذوب و پردازش فلزات، نیروگاه‌ها و همچنین سوزاندن مزارع و آتش سوزی جنگل‌ها جزو این دسته هستند.

در صورتی که عزم جدی برای کاهش شاخص آلودگی هوا وجود داشته باشد، روی همه این فعالیت‌ها باید اعمال محدودیت‌های موثر و همچنین ارائه آلترناتیوهای کاربردی که بتواند کارایی را حفظ کند وجود داشته باشد.

## نمودار استخوان ماهی برای علل آلودگی

در پایان برای بیان عوامل اصلی ایجاد آلاینده‌ها و افزایش میزان هوا که منجر به آلودگی هوا می‌شود تصمیم به ترسیم به نمودار استخوان ماهی گرفته شد تا تمامی علت‌ها در قالب آن به نمایش گذاشته شود.



شکل ۷: نمودار استخوان ماهی برای علل آلودگی هوا